

FACULTAD DE CIENCIAS
GRADO EN BIOLOGÍA
TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO [2015-2016]

TÍTULO:

Balances hídricos en bosques de encinar mediterráneo: Modelización
con STELLA de la respuesta a factores climáticos.

AUTOR:

Belii Maxim

Índice

1. Resumen	1
2. Objetivos.....	2
3. Introducción.....	3
4. Ciclo Hidrológico y Precipitaciones.....	4
4.1 Balance Hídrico.....	6
4.2 Procesos hidrológicos presentes en un ecosistema.....	7
4.3 Proceso de interceptación y su efecto en el ciclo hidrológico.....	9
4.4 Variables que influyen en la interceptación.....	10
4.5 Antecedentes y desarrollo actual del tema.....	13
4.6 Emplazamiento climático Sierra de Ventós.....	15
5. Modelación.....	16
5.1 Base conceptual modelación	16
5.2 Modelación.....	17
5.3 Software Stella	19
5.4 Construcción del modelo de la interceptación del agua.....	21
6. Resultados y Discusión.....	27
6.1 Resultados	27
6.2 Conclusión y Discusión.....	33.

1) Resumen

Se realizó un estudio comparativo del balance hídrico con modelación con Stella de ecosistemas de un pinar, pinar + matorral y matorral en la zona de Ventos, Alicante. Para ello se determinaron los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones, trancolación, escorrentía cortical y la escorrentía superficial de agua en el suelo. Las precipitaciones del período de estudio fueron del año 2012 hasta 2014, de las cuales el 25% en pinar, 19% en pinar + matorral y 9% en matorral se interceptaron por la cobertura vegetal de cada sistema. La trancolación para las mismas cubiertas vegetales fue mayor en los pinos que en los matorrales. La gran diferencia y una de las más importantes consistían en la escorrentía cortical y trancolación en los cuales en los pinos tiene una insignificancia pequeña pero en los matorrales juega un papel importantísimo, llegando a valores de 30-40%. En comparación con pino con el matorral, podemos concluir que se produce mayor interceptación de agua de la lluvia en los pinos comprado con los matorrales y con pequeña diferencia con el sistema de matorral y pinos.

Palabras clave: Interceptación; modelos dinámicos; variables hidrometeorológicas; metodología, simulación.

Abstract

A comparative study of the water balance modeling was performed with Stella of a pine forest, scrub and scrub pine + ecosystems Ventos area, Alicante. To do the different components of the redistribution of rainfall, throughfall, stemflow and surface runoff water in the soil were determined. Precipitation of the study period were the year 2012-2014, of which 25% in pine forest, 19% in scrub and pine + 9% in scrub intercepted by vegetation cover of each system. The throughfall for the same ground cover was higher in the pines in the thicket. The big difference and one of the most important consisted of stemflow and throughfall where in the pines has a small but insignificant in the bushes plays an important role, reaching values of 30-40%. Compared with pine scrub, we can conclude that higher interception of rainwater occurs in the pines purchased with bushes and with little difference with the system of scrub and pines.

Keywords: Interception; dynamic models; hydrometeorological variables; methodology; simulation.

2) Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es comparar los 3 distintos sistemas (Pinar, Pinar + Matorral y Matorral) y valorar el efecto que tiene cada cobertura vegetal en la distribución del agua de precipitación.

Otros objetivos:

- Cuantificar los flujos en los que se distribuye el agua: Precipitación incidente, transcolación y escorrentía cortical y así poder calcular la precipitación interceptada
- Establecer relaciones entre los distintos flujos.
- Medir las variables que influyen en el proceso de la interceptación.
- Comparar los distintos modelos y ver cuál de los sistemas es el que se intercepta mayor cantidad de agua y las razones de este.

3) Introducción

El ciclo hidrológico es un modelo de la circulación de agua que comprende un gran número de movimientos y transformaciones (Lee 1980). Se conoce que la vegetación está relacionada con la cuantía, distribución y posibilidad de aprovechamiento de los recursos hídricos. La importancia que juega la vegetación en la intercepción del agua de la lluvia es importante. Se conoce que los ecosistemas forestales pueden llegar a interceptar entre 10 y 35 % de la precipitación incidente, y esta agua es aprovechada por el sistema radicular de la vegetación. Las implicaciones del cambio de uso del suelo como los cambios antrópicos o naturales en los ecosistemas puede llegar a ser muy devastadores sobre el balance hídrico local (Ward y Trimble 2004). Aussenac y Boulangeat (1980) reconocen que dependiendo del clima las influencias sobre el ciclo hídrico son muy complejas y muy variables. Esto es debido a que la cubierta vegetal, sobre todo los árboles, juegan un papel importante en la redistribución de las precipitaciones, ya que ellos modifican la cantidad y lugar donde alcanzan la superficie (Hewlett y Nutter 1969, López y Blanco 1976, Daniel *et al.* 1982, Spurr y Barnes 1982, Huber y Oyarzún 1990).

Dentro del ciclo hidrológico se encuentran muchos pasos. En los ecosistemas forestales, el agua evapotranspirada puede representar entre el 70 y el 90 % del agua de la lluvia, ya que la demanda evaporativa en zonas mediterráneas es superior al agua de lluvia, llegando incluso a duplicar los valores. La demanda evaporativa de la atmósfera se denomina evapotranspiración potencial.

Pero para que el agua sea evapotranspirada tiene que haber quedado retenida en el ecosistema, reteniéndose sobre la vegetación (sobre todo la copa de los árboles o suelo) o almacenándose directamente en el suelo y la vegetación. Estos dependen directamente de las estructuras susceptibles a ser mojadas y de la naturaleza de la estructura. (Gerrits, *et al.* 2006) observaron que la vegetación juega un papel importante en la evaporación de la precipitación, debido a que su follaje llega a retener una cantidad de lluvia de 20 al 50 % de la precipitación total. Para zonas tropicales y subtropicales la interceptación se encuentra en el rango de 8.9-39% (Crockford R.H, & Richardson D.P, 2000). Jaramillo

(2003) reporta valores para otras coberturas vegetales, p. e, Cacao (13- 27%), Selva amazónica (25%), Selvas en Malasia (25-80%), Bosques (27%), etc. Además se conoce que el agua sobre dosel de la vegetación es un factor importante que condiciona los procesos físicos y biológicos que ocurren sobre las superficies foliares (Bouten, 1992).

Con lo que podemos decir que la evapotranspiración contiene dos componentes. La primera es la evaporación o agua interceptada, es decir la cantidad de lluvia incidente que es interceptada por las coberturas vegetales y que luego es redistribuida. La lluvia que golpea la superficie de la planta es retenida temporalmente para luego ser evaporada a la atmósfera (PERDIDA POR INTERCEPTACION) (Hewlett 1969, Grimm y Fassbender 1981) o cae al suelo directamente (GOTEO) o fluye a través de las ramas y el tronco (FLUJO CORTICAL, ESCURRIMIENTO FUSTAL O FLUJO CAOLINAR) (López y Blanco 1978, Lee 1980, Crockford y Richardson 1990). El agua que no se queda retenido en la cobertura vegetal se conoce como FLUJO LIBRE DE TRANSCOLACIÓN y junto con el goteo se conoce como FLUJO DE TRANSCOLACIÓN (David *et al*, 2005) o PRECIPITACION FOLIAR (Tellez, 2003).

Según Gerrits M. (2010), la interceptación no solo se da en las cubiertas vegetales, sino por otras estructuras también: suelo, materia organiza... Además de eso existen tres grandes efectos de la interceptación sobre el ciclo hidrológico. Primer efecto actúa como reductor de lluvias, segundo afecta a la infiltración espacial y la tercera es la redistribución de la lluvia en el tiempo mediante un tiempo de retardo no homogéneo.

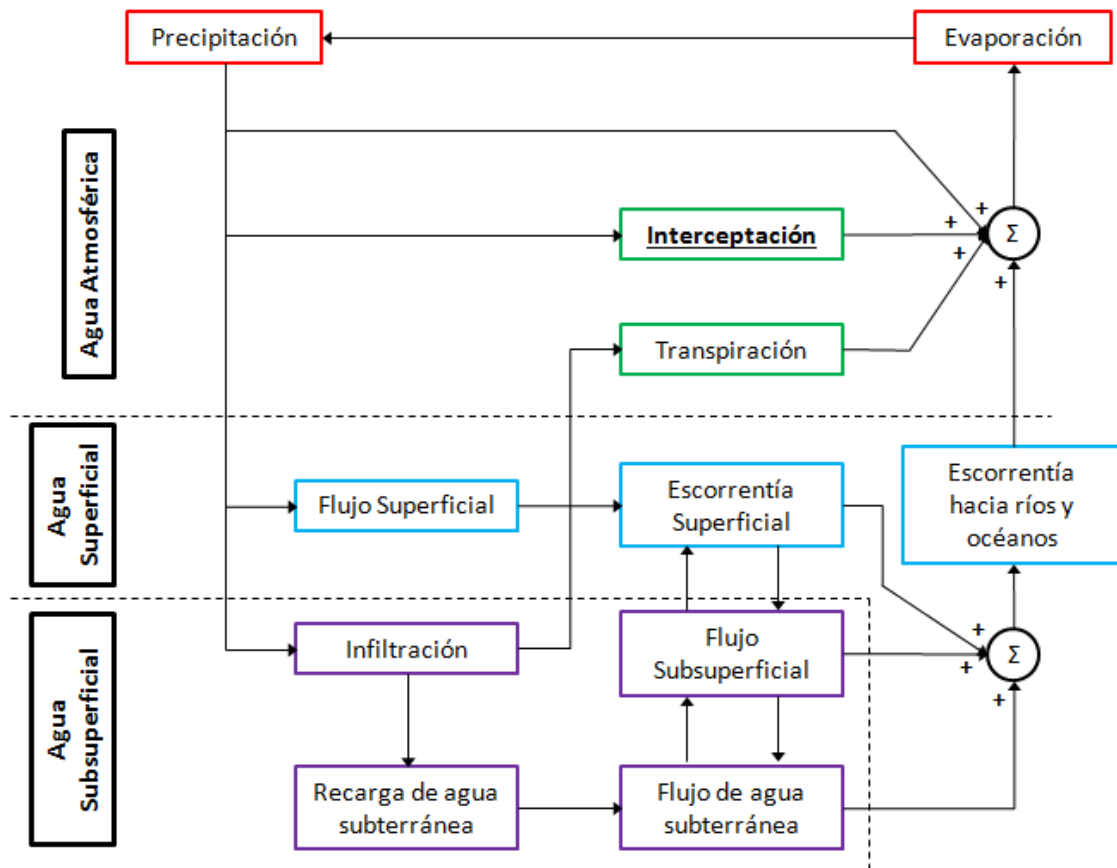
La estimación de la interceptación por coberturas vegetales se ha abordado tradicionalmente como un porcentaje constante de la precipitación. Aun cuando los bosques no tienen influencia preponderante en la precipitación, su participación no se puede considerar como insignificante, en particular cuando se contabiliza la cantidad y la distribución de la lluvia que llega al piso forestal. Las pérdidas por interceptación dependen directamente de la duración e intensidad de la lluvia, la estructura de la vegetación y de las condiciones climatológicas que controlan la evaporación durante y después de la lluvia (Rutter, *et al*, 1971; Rutter *et al*, 1975; Xiao *et al*, 2000)

4) Ciclo Hidrológico y las precipitaciones

El ciclo hidrológico o el ciclo de agua son procesos continuos de movimiento y transformación de agua en la hidrosfera. Es un ciclo biogeoquímico ya que intervienen reacciones químicas en las cuales el agua cambia de estado o circula a otro lugar. La

mayor reserva de agua se encuentra en forma líquida sobre todo en los océanos y mares, la segunda fracción está en forma sólida, acumulada como hielo en los casquetes polares. La fracción más pequeña de agua está en estado gaseoso como nubes en la atmosfera.

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación de agua comprendida en los océanos, mares, ríos, cuerpos de agua y también con la evapotranspiración de las plantas, que es la evaporación en el suelo y transpiración del material vegetal. La evaporación y la transpiración están producidas por la energía que desprende el sol y que estos están determinados por las condiciones climáticas de temperatura, humedad, radiación y viento. Con la energía suministrada el agua en estado líquida pasa a estado gaseoso (vapor de agua). Esta agua en estado gaseoso, a medida que se eleva, pierde temperatura y se enfrían creando pequeñas gotas, transformándose otra vez en agua en un proceso llamado condensación. Estas pequeñas gotas en su circulación se van juntando con más gotas formando así nubes, formando gotas mucho más grandes que por su peso precipitan en forma de lluvia. Esta precipitación puede quedar interceptada por la vegetación o caer directamente en el suelo y condicionado por la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente del terreno el agua puede infiltrarse, escurrirse superficialmente o quedarse encharcado. El agua que escurre llega finalmente al mar. El agua que se infiltra en el suelo puede quedarse retenida en él, cuya capacidad de retención depende de la textura y estructura, o formar acuíferos o capas de agua subterránea, conocidas como capas freáticas. El agua que se infiltra viaja lentamente y llega a alimentar a ríos y manantiales y finalmente al mar. (SNET, 2005).



Fuente: Chow *et al*, 1994

4.1) Balance Hídrico

Un balance hídrico comprende la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así como diversos componentes relacionados con los consumos de agua de los sectores usuarios en una cuenca y la interrelación que guardan entre sí, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (Hernández, 2007). Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, éste permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad (SNET, 2005).

El modelo de balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa, que dependerá del volumen de control y de las condiciones de frontera existentes.

$$\Delta S = I - O$$

Donde ΔS es el cambio de almacenamiento en el sistema, I las entradas y O las salidas del mismo para un periodo de tiempo establecido. En general, el modelo de balance hídrico considera como variable principal de entrada la precipitación incidente (P_g) y la evaporación (E) como variable principal de salida. Estas también se conocen como variables de forzamiento o fuerzas motrices del sistema.

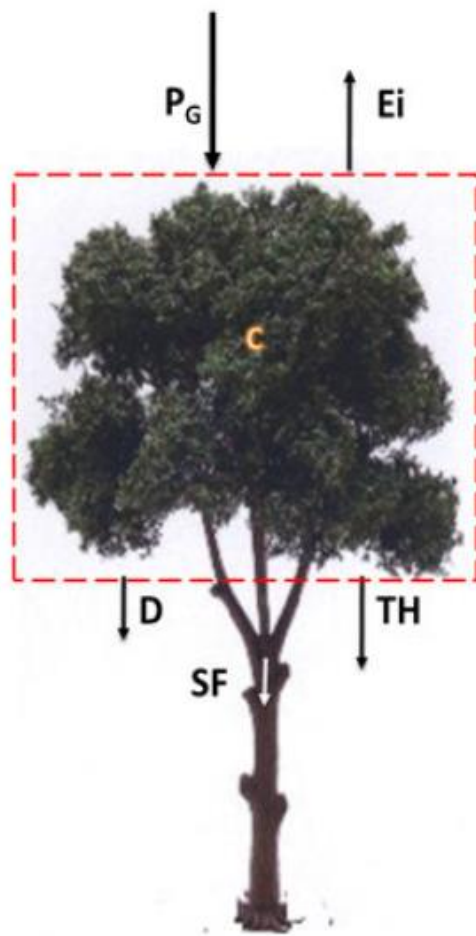
4.2) Procesos hidrológicos presentes en un ecosistema

BALANCE DE MASA EN EL FOLLAJE

A partir de la ecuación de balance de masas descrita anteriormente se puede entender los procesos hidrológicos de un ecosistema. Con esta ecuación se puede cuantificar los movimientos de agua de nuestro estudio. La cantidad de agua que no es interceptada por la vegetación y que pasa por los espacios que existen entre la vegetación que llega directamente al suelo, se denomina **flujo libre de transcolación**, que junto con **goteo (D)** que se presenta desde superficies del árbol cuando existe interceptación, es denominado **flujo de transcolación (TH)**. La fracción de la precipitación que escurre por las ramas y posteriormente fluye por el tronco al llegar al suelo se denomina **flujo cortical (SF)**.

El agua que es infiltrada en el suelo es captada por las plantas por el sistema radicular, que por procesos metabólicos se transforma en transpiración, junto con la evaporación del suelo da la **evapotranspiración (Evt)**. Si a esta evapotranspiración sumamos los datos de la evaporación del agua interceptada por las ramas y hojas (**Ei**) obtendremos el valor de la evaporación total.

En la siguiente imagen se muestra los balances de Masa en el follaje del árbol:



Dónde:

P_G : Precipitación Incidente o externa

E_i : Evaporación del agua que ha sido retenida en el follaje y ramas

SF : Flujo Cortical o cantidad de agua que escurre por los tallos

TH : Flujo libre de translocación (Cantidad de agua que a traviesa el follaje sin ser interceptada)

D : Goteo desde el follaje (Cantidad de agua que es interceptada y escurre cuando se ha superado la capacidad de almacenamiento del follaje).

C : Agua almacenada en el follaje

Para calcular el balance final de una precipitación se obtiene la siguiente ecuación:

$$C \approx P_G - (TH + D + SF) - E_i$$

A partir de esta ecuación se puede obtener cualquier modelo de la interceptación de lluvia, y su resultado dependerá de las variables y los parámetros particulares de cada uno.

El general el flujo cortical es menor al 2 % de la precipitación incidente (Jeramillo, 2003), razón por la cual se desprecia en la mayoría de estudios de interceptación.

4.3) Proceso de interceptación y su efecto en el ciclo hidrológico

La interceptación influye en la lluvia, llegándola a reducir ya que distribuye la lluvia y la infiltración en el tiempo. La interceptación es función de la variabilidad de la vegetación, la duración e intensidad de las lluvias, cantidad de días secos y húmedos, el ángulo de incidencia de las gotas y de la turbulencia atmosférica (Jaramillo, 2003).

Dentro de los efectos que realizan las coberturas vegetales en las dinámicas existentes en las cuencas hidrográficas se destacan las siguientes citadas por Giraldo (2002):

- Reducción directa del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo.
- Reducción indirecta del volumen de escorrentía directa y por lo tanto el volumen de materia sólida que esta puede arrastrar hacia los cauces.
- Acción indirecta de los efectos del suelo forestal sobre la escorrentía (retraso del tiempo de concentración, aumento de infiltración, reducción de focos erosivos, conversión del escurrimiento superficial en subsuperficial, suministro adicional de una mayor potencial de almacenamiento de agua).

Las características de la tormenta condicionaran el proceso de interceptación, ya que para tormentas con intensidades bajas los valores de interceptación son mayores dado que el tamaño de gota es menor (Jaramillo, 2003) y en consecuencia el área foliar es capaz de interceptar y retener una mayor cantidad de gotas, caso contrario a tormentas muy intensas, las cuales saturan rápidamente el follaje, y tienden a ladearse y desocuparse por acción del volumen de agua.

La interceptación está directamente relacionada con las características de la cobertura, como lo son su morfología, el área foliar, la forma, la orientación y el tipo de inserción de las hojas, el tamaño de la corona, el ángulo de las ramas, la proporción de espacios ocupada por la parte aérea y el tipo de corteza y hojas (Velasquez & Jaramillo, 2009). La tasa de evaporación es mucho mayor para bosques que para vegetación con bajo porte, debido a que los bosques tiene una mayor resistencia aerodinámica (Gash *et al*, 2009).

La reducción del área basal y la poda (área de la copa del árbol) disminuyen los valores de interceptación. Se estima una interceptación mayor para periodos con condiciones atmosféricas húmedas, que para las secas. Se considera también que cuando los eventos de precipitación se presentan en la tarde o noche, los valores de interceptación serán

más bajos, debido a que el déficit de presión de vapor, la velocidad del viento y por ende la conductancia aerodinámica cae rápidamente (Crockford R.H, & Richardson D.P, 2000).

Los valores de interceptación se ven directamente afectados por características como el número de árboles o especies por hectárea, el ángulo de las ramas, la forma e inclinación de las hojas, la uniformidad o no de la altura de la copa, la naturaleza y grosor de la corteza del árbol, la capacidad de almacenamiento del follaje y como esta cambia a través de las estaciones climáticas y de las especies, la hidrofobicidad (repelencia al agua) de las hojas y la madera, y el índice de área foliar (Crockford R.H, & Richardson D.P, 2000).

Los efectos del cambio de cobertura vegetal afectan también los diferentes balances dentro del ecosistema, como son el caso del balance de energía y de nutrientes (Chávez & Jaramillo, 1999). Estos autores destacan los siguientes al realizar la conversión de un bosque a un cultivo intensivo o pastos.

- Incremento en la fluctuación de la temperatura del suelo
- Disminución en la humedad relativa
- Incremento en la radiación incidente en la temperatura del suelo
- Cambio en la capacidad calórica del suelo
- Disminución de la materia orgánica
- Disminución en los niveles de nutrientes en el suelo

Otros efectos que se presentan al hacer una conversión del tipo de cobertura vegetal son el incremento de caudales picos posterior a un evento de precipitación y el aumento de la cantidad de agua producida por la cuenca (Llorens & Domingo, 2007).

4.4) Variables que influyen en la interceptación

La interceptación tiene dos variables de entrada: la precipitación y la evaporación desde las coberturas vegetales. La variable de evaporación depende de las condiciones ambientales y meteorológicas de la zona, y este proceso está unido a los demás movimientos del ciclo hidrológico. Entre menor sea el periodo intertormentas menor será la interceptación, debido a que la cobertura no tendrá la misma capacidad que si estuviera totalmente seca (Crockford R.H, & Richardson D.P, 2000).

Las variables que influyen en la interceptación son los siguientes:

- **Precipitación:** De lo normal la precipitación se mide a través de pluviómetros o de pluviógrafos de balancín unidos a data logger (Llorens & Domingo, 2007). En condiciones atmosféricas secas la interceptación es controlada por la intensidad de la lluvia y por su duración (Llorens *et al.* 1997). La intensidad y duración de la lluvia puede aumentar o disminuir la cantidad de agua interceptada en el dosel de la vegetación (Tsukamoto *et al.* (1988), Toba y Otha, 2005, Raat, *et al.* 2006). A veces las medidas de precipitación podrían estar subestimadas por las pérdidas producidas por el viento (Crockford R.H. & Richardson D.P, 2000).
- **Velocidad y dirección del viento:** Se ha visto también que el viento es capaz de orientar las hojas en su dirección y así disminuir la interceptación. Pero en zonas tropicales con densa vegetación las probabilidades son muy bajas de que una gota pase el dosel sin tocar la cobertura vegetal (Herwiz y Slye 1995).
- **Índice de área foliar:** varía de acuerdo a la especie de árbol/planta, a la temperatura, a la etapa fenológica de un cultivo y a la disponibilidad de agua (Wulder, 1998, Spanner *et al.* 1994). Se han hecho diversidades de estudios para evaluar este índice y confirmar que la interceptación se incrementa proporcionalmente con respecto a su magnitud (J. Martín y Stephens W., 2005, G. Pypker *et al.* 2005).
- **Arquitectura de la vegetación:** Las hojas y ramas de la vegetación presentan variaciones morfológicas dependiendo de la especie (variación inter-específica) lo cual hace que las capacidades de interceptación difieran (Horton, 1919; Liu, 1998, citado por Mastachi, 2007). Los individuos de una misma especie también presentan diferencias (variación intraespecífica) debido a la edad o a que su crecimiento no sigue un patrón determinado, estas variaciones también se ven reflejadas en sus capacidades de interceptación. (Navar *et al.* 1999, citado por Mastachi, 2007)
- **Flujo cortical:** Como lo hemos mencionado antes el flujo cortical es la cantidad de agua que es interceptada por las coberturas vegetales que posteriormente el agua escurre por el tronco hacia el suelo, su medición es a través de unas mangueras alrededor del tronco de forma espiral (Crockford R.H. & Richardson D.P, 2000). Los valores del flujo cortical varían de 2- 8% y dependerían de muchos factores, donde los más importantes son la cantidad y la intensidad de la

lluvia, la rugosidad y diámetro del tallo, la morfología de del árbol y posición de la especie dentro de la totalidad de las coberturas vegetales (Giraldo L., 2002). Según Crockford R.H. & Richardson D.P (2000) las siguientes características son de suma importancia:

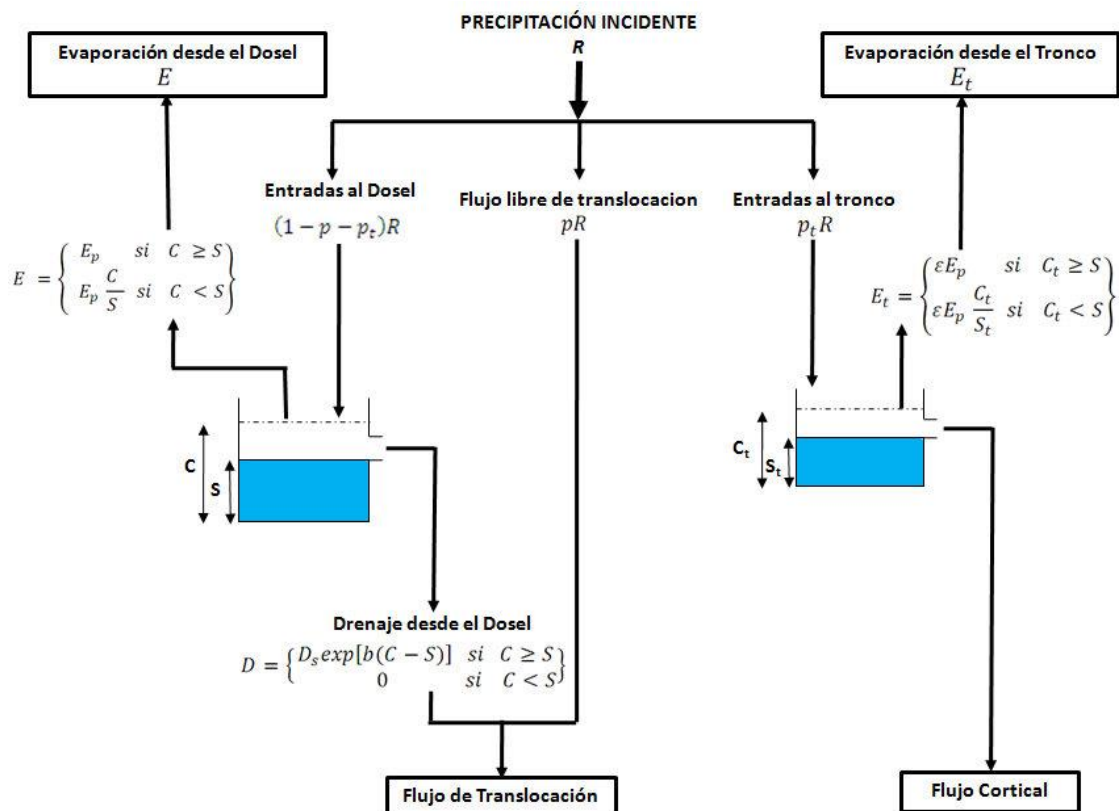
- Tamaño de la copa. Entre mayor sea el tamaño de la copa para un diámetro de tronco dado, mayor será el flujo cortical.
- Forma de la hoja y orientación. Si el ángulo de la hoja está por encima del plano horizontal, es decir, si la punta de la hoja está por encima del peciolo, y tiene una forma cóncava, el agua almacenada podrá ser conducida hacia las ramas. Para hojas verticales el aporte se da cuando existe goteo hacia las ramas.
- Angulo de las ramas. Ramas inclinadas tiene un mayor potencial de aporte al flujo cortical que las que son horizontales o por debajo de las horizontales.
- Obstrucciones en la trayectoria de flujo. La trayectoria de flujo se encuentra bajo las ramas. Obstrucciones como cortes pueden hacer que el agua gotee directamente al suelo o caiga de nuevo en las ramas. Esto también puede suceder en el tronco. Si este no está vertical el flujo se verá por la parte de abajo del mismo y si encuentra algún obstáculo esta agua empezara a gotear.
- Tipo de corteza. Existe una gran variación entre el grosor y el tipo de corteza entre especies de árboles del mismo tamaño. La humectabilidad y el grosor tiene efectos sustanciales sobre el flujo cortical. Superficies lisas conllevan a mayores valores de flujo cortical, en cambio cortezas con capacidad de absorción, producen menor cantidad de flujo cortical, ya que la corteza debe saturarse antes de que exista este flujo.
- Espacios en el follaje. Los espacios en el follaje pueden afectar el flujo cortical, aumentando su volumen debido a que un mayor número de gotas podrán ser retenidas por las ramas. Realmente depende en mayor medida de la forma de la hoja y su orientación.
- Continuidad y proporción de periodos secos
- Intensidad de la lluvia. Altas intensidades hacen que se exceda la capacidad de transporte de agua en las ramas produciendo goteo y por

ende menor flujo cortical. Caso contrario se da para eventos con intensidades menores.

- **Angulo de la lluvia.** El ángulo de la lluvia es particularmente importante, debido a que si el ángulo es cercano a la horizontal el flujo cortical iniciara en el momento que el tronco este húmedo.
- **Flujo de transcolación:** se define como parte de lluvia que atraviesa la cobertura vegetal sin tocarla sumando el goteo desde las hojas y ramas. Para medirla se colocan colectores bajo la estructura vegetal que se está analizando. En algunos casos los registros de flujo de transcolación o precipitación neta, se hallen valores que superen a la precipitación incidente, esto es debido a la formación de gotas sobre el follaje sobre todo en precipitaciones superiores a los 10 mm (Velasquez & Jaramillo, 2009).

4.5) Antecedentes y desarrollo actual del tema

A partir de la publicación de Horton (1919), muchos autores se han interesado por el tema de la interceptación de las precipitaciones por la vegetación bajo un clima templado. Se encuentran muchos estudios entre los años 30 y 50, entre los cuales se puede citar los de Wood (1937), Kittredge (1948) y Rowe (1951), pero es a partir de la década de los años sesenta que se detecta la mayor producción de los mismos. Los autores Aussenac (1968, 1970); Rapp & Romane (1968), avanzaron mucho más en la interceptación cuyo estudio de bosque de *Quercus ilex* era novedoso en cuanto a la especie analizada. Rutter & Morton (1971, 1975, 1977) elaboraron un modelo de predicción de la interceptación, de gran aplicación y Gash (1978, 1979), con su adaptación del modelo de Rutter.



Modelo conceptual del modelo de Rutter

En España este tema es muy reciente, los primeros estudios no empezaron hasta finales de los años setenta. Calabuig (1979), el primero en estudiar en España en el estudio de la interceptación de las precipitaciones por *Quercus rotundifolia*, obteniendo cifras que varían entre 20% como mínimo y un máximo de 40%. Pero en los últimos quince años, las principales aportaciones proceden, fundamentalmente, del área mediterránea, donde se trabaja en bosques de *Quercus ilex*, y en distintas variedades de *Pinus*. El barranco de L' Avic (Sierra de Prades, Tarragona), fue la cuenca hidrográfica más antigua en la cual se estudió la pérdida de agua por la interceptación. Cabría destacar otras cuencas hidrológicas en Cataluña: Cal Parisa (en el prepirineo) y Castanya (Monstseny). En estas dos cuencas hidrológicas los porcentajes de interceptación son muy distintas: en la estación de Montseny, en bosque de *Quercus ilex*, se obtienen entre 20-25 % de la precipitación total anual, mientras que en el encinas de L'Avic el porcentaje medio es del 16,5% (Escarré *et al.*, 1986).

Según el estudio de Lossaint & Rapp (1971), el porcentaje de la interceptación en un bosque de *Quercus* ronda en torno a un 30%. Cal Parisa arroja porcentajes del 24% en *Pinus sylvestris*, comparables a los aportados por Aussenac (1968), Gash (1979) o

Loustan (1992). También se han llevado a cabo estudios sobre los matorrales en el las zonas de Almería y Murcia, según los datos aportados los porcentajes de interceptación son muy elevados, llegando a un 30-40%, aunque hay una gran variabilidad según especies (Belmonte & Romero, 1994).

Hasta ahora, la mayor parte de los estudios han tenido como marco de trabajo bosques cerrados de distintas especies o parcelas de matorrales y en menor medida se ha analizado el comportamiento de individuos dispersos.

4.6) Emplazamiento climático Sierra de Ventós

El emplazamiento climático del acuífero del Ventós-Castellar se caracteriza por ofrecer condiciones típicas de ambientes semiáridos. Así, la estación pluviométrica que presenta la serie más larga en las inmediaciones del acuífero presenta una precipitación media anual para el periodo 1975/ 76-2001/02 de 275 mm, con un coeficiente de variación (CV) de 38%.

Del intervalo de registro, el año 1994/95, con 105 mm, es el más seco, mientras que el más lluvioso corresponde a 1988/89 con 556 mm. La distribución anual de las precipitaciones permite establecer como periodo más lluvioso al comprendido entre septiembre y noviembre, con un 36 % del total. Es frecuente que las lluvias que se producen durante ese periodo sean aguaceros. Estos eventos tormentosos han llegado a alcanzar algún año cantidades de hasta 191 mm/día, suponiendo casi un 60% de la precipitación anual. Además de la época otoñal, existe un máximo pluviométrico relativo primaveral en el mes de mayo con 30 mm.

Tal y como era de esperar, el periodo más seco es el estival; los meses de julio y agosto presentan idéntica precipitación, situándose su valor en 10 mm. El estudio de las precipitaciones diarias permite establecer que el número de días de lluvia al año oscila entre 20 y 70, o lo que es lo mismo, entre el 5 y 19% de los días del año son lluviosos. Sin embargo, si se analizan las cuantías de las precipitaciones es posible establecer que el número de días al año con valores superiores a 15 mm tan sólo oscila entre 2 y 8. Los escasos valores de precipitación anual, junto con que habitualmente los episodios de precipitación suelen ser inferiores a 15 mm, conlleva importantes implicaciones hidrogeológicas que indican la escasa alimentación de este sistema.

En este sentido, se puede considerar que este pequeño acuífero kárstico se encuentra en una de las zonas más secas del SE de España. La temperatura media anual es de 18,5 °C,

variando entre 11,9 °C del mes enero y 26,5 °C de agosto, mientras que la evapotranspiración potencial anual podría situarse entre 870 y 1122 mm, en función de la metodología empleada para su estimación (Andreu et al., 2001).

5) Modelación

5.1) Base conceptual modelación

Para hablar antes de hablar de los modelos matemáticos que representan la interceptación se necesita uniformizar criterios a la base conceptual de modelación. Empezaremos por la definición **Sistema**, es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un objetivo determinado. Ferrari (1978) denomina a sistema una parte de realidad que contiene elementos muy interrelacionados, los cuales tienen un mismo propósito y por eso tiene límites arbitrarios. También existen otras definiciones del Sistema, como por ejemplo de Hillel (1979), que lo define como un estado de incesantes flujos, donde la materia y la energía son transformadas hacia y desde una serie de numerosos procesos concurrentes que involucran cambios físicos, químicos y biológicos. Téllez (2003) afirma también que los sistemas pueden ser repetibles, recurrentes o únicos.

Con lo que podríamos decir que un modelo es una representación de algo de forma diferente al de la entidad mismo. Lo que queremos conseguir con los modelos, es una simplificación de una realidad para poder explicar, entender o mejorar un sistema.

Un modelo de simulación está compuesto por distintas partes:

- **Los componentes:** son elementos que constituyen y forman un sistema, a veces se les denomina subsistemas.
- **Las variables:** son valores que cambian dentro de la simulación y forman parte de funciones del modelo.
- **Los parámetros:** o cantidades a las cuales se les asigna unos valores dentro de una simulación y siempre son constantes.
- **Las relaciones funcionales:** el comportamiento que existe entre las variables y los parámetros dentro de un componente o entre componentes de un sistema. Estas características operativas pueden ser de naturaleza determinística o estocástica. Las determinísticas son relaciones donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas. Las relaciones estocásticas son las que el proceso tiene una salida indefinida

para una entrada determinada, son sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable y cada una de estas variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad que pueden estar correlacionadas o no.

- **Las restricciones:** son limitaciones impuestas a los valores de las variables o la manera en la cual los recursos pueden asignarse o consumirse.
- **Las funciones de objetivos:** definen explícitamente los objetivos del sistema y como se evaluarán. Es una medida de eficiencia del sistema.

Rabbinge & de Wit (1989), explican que la simulación es un proceso por el cual se representa un sistema mediante modelos simplificados, que por general se expresan por construcciones de relaciones analíticas matemáticas y por el estudio de sus propiedades en referencia a las del sistema que ellas representan. Otro autor, Shanon (1988), define que la simulación es un proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso real y conducir experimentos para poder entender el comportamiento del sistema.

Un modelo de sistema hidrológico es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas (Chow *et al*, 1994).

5.2) Modelación

La modelación se define como un proceso de formación de una descripción matemática de los procesos a analizar o estudiar. El termino modelo es usado como un conjunto de ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento dinámico del sistema (Macia & Thaler, 2005).

Se puede decir con eso que la modelación es una aplicación de un conjunto de herramientas matemáticas que se usa para abstraer una realidad compleja para formar un sistema mucho más comprensible y manejable, que se obtiene a partir de los parámetros y conocimientos del sistema estudiado, considerándolos como elementos dinámicos que se relacionan.

Michael Deaton y James Winebrake (2000), autores de *Dynamic Modeling of Environmental Systems*, la utilización de los modelos informáticos de los sistemas ambientales por los científicos ayuda a entender como el ambiente cambia y así mismo,

poder realizar predicciones de como esto puede evolucionar en el tiempo. Afirmar también que los modelos informáticos no son solo un objeto de estudio académico, sino que son un herramienta para cualquier persona dándoles la posibilidad de explorar la naturaleza y los sistemas, convirtiéndose así en una tarea multidisciplinar que con cada experiencia permite lograr resultados más precisos y un sistema mucho más completo de la naturaleza.

Aun así los sistemas ambientales tienen una gran cantidad de componentes que se relacionan entre sí, esto induce a que su entendimiento sea muy complejo, más aun cuando los diferentes suceso tienen condicionantes que a su vez depende de otros, convirtiéndolo así en un sistema muchísimo más completo. Pero para llegar a poder modelar un sistema y llegar a un resultado correcto, lo más posible próximo a la realidad, es necesario limitar los estudios, seleccionar los objetivos más claros que nos pueden resolver los interrogantes a nivel micro y procesar las variables sean necesarias. Por eso, la modelación ambiental es una herramienta muy útil para la resolución de problemas y la comprensión de los sistemas.

Aun así podemos decir que la verificación y validación de modelos numéricos de los sistemas naturales es imposible debido a que los sistemas naturales son abiertos y los modelos se enfocan a un pequeño subconjunto de los muchos procesos que pueden estar desarrollándose en ellos. En todo caso, los modelos se pueden confirmar mediante la demostración de que existe concordancia entre las observaciones y la predicción, pero esta confirmación es inherentemente parcial a las variables consideradas (Orestes et al, 1994). Por eso lo verdadero del modelo no puede ser pruebo a prueba a partir de las observaciones. Si el conjunto de datos es inconsistente con las predicciones de un modelo, entonces el modelo es indudablemente falso.

Por el contrario, si los datos son consistentes con las predicciones no podemos afirmar que el modelo sea cierto, ya que siempre existe la posibilidad de que más de un modelo o teoría pueden explicar estar predicciones. Con lo que podemos decir que son todos los datos y las predicciones concuerdan, entonces lo único que podemos afirmar es que hemos fracasado en demostrar que el modelo es falso con respecto a esa serie de datos.

En algunos caso, tenemos conocimientos suficientes para realizar tareas útiles y en donde es posible aplicar una validación operacional pragmática del modelo a pesar de nuestras incertidumbres filosóficas (Rykiel, 1996)

En este sentido, un modelo contiene numerosos interpretaciones cualitativas y subjetivas, y la prueba de su validez se logra mediante la aplicación de técnicas de

investigación específicas y luego de que se construya un modelo numérico y se comparen los resultados de la simulación con las observaciones de campo (Betancur & Palacio, 2009).

Con esto se puede decir que se debe de hacer una formulación de la modelación exhaustiva y una recolección de la información de entrada detallada, porque de estas depende el resultado. También se debería de considerar las capacidades de los modelos, ya que estos cumplen funciones específicas y en algunos casos limitadas. La modelación dinámica de sistemas ambientales tiene como principales objetivos la síntesis e integración de información, la guía para la observación y la experimentación, la comprensión de los sistemas y la predicción de escenarios futuros. Para esto, se basa en datos provenientes de la realidad, que sustentan al modelo, para que a través del conjunto de ecuaciones se obtenga un resultado.

Se puede decir que la modelación nos permite hacer proyecciones que conectan la información para dar un diagnostico actual del sistema y no solo esto, sino también realizar pronósticos y proyecciones basadas en la experiencia y el conocimiento adquirido sobre el sistema.

Estas proyecciones deben de ser coherentes con la información de entrada del modelo, ya que solo cuando las predicciones son un marco de tiempo suficiente para que podamos compararlos con los acontecimientos en el mundo natural pueden desempeñar un papel en la mejora de nuestra una comprensión de la naturaleza (Orestes et al, 1994), es decir la complejidad de los sistemas se determina no solo con la información de salida sino que también con la relevancia que tiene en el tiempo.

5.3) Software Stella





STELLA (Strongly TypEd Lisp Like Language) es un programa que sirve para la modelación de sistemas dinámicos usado para la comprensión de los procesos, la proyección de variables, para la predicción y evaluación de impactos ambientales... Es un sistema dinámico con una interfaz gráfica que permite al usuario modelar gráficamente.

Este programa fue adquirido en la Universidad de Valencia y desarrollado por la organización Isee Systems, tiene un interfaz que permite al usuario manejarse relativamente sencillo con las herramientas del programa. El interfaz es iconográfico con el fin de facilitar la construcción de modelos de sistemas dinámicos.

Para formar nuestro modelo se realizara la construcción de un diagrama que represente el sistema que actualmente queremos estudiar. En este diagrama creado por nosotros, se les asignaran valores y parámetros apropiados con las funciones matemáticas que dominan al sistema con el fin de obtener unos resultados más próximos a los reales (Isee Systems, 2006).

Con las herramientas que nos proporciona el programa STELLA es posible crear un modelo que representa los distintos componentes o partes y las interacciones del sistema dinámico de la vida real, aun así cuando ese sistema contenga complejidad.

Las herramientas del programa son los siguientes:

No.	Nombre		Descripción	Representación en STELLA
	Inglés	Español		
1.	<i>Stock</i>	Reserva	Representan las reservas del sistema, las variables de estado. Estas recogen los flujos de entrada y salida.	
2.	<i>Flow</i>	Flujo	Representan el flujo desde y hacia las reservas, son las variables de cambio o intercambio entre las variables de estado.	
3.	<i>Converter</i>	Convertidor	Representan las variables auxiliares, pueden ser valores constantes o valores que dependen de otras variables, de curvas o de funciones de varios tipos.	
4.	<i>Action conector</i>	Conector	Representan las relaciones entre las distintas herramientas, variables y elementos del modelo.	

Fuente: Los autores, 2010.

Además de las herramientas mencionadas, STELLA cuenta con cuatro pestañas que muestran la información contenida en el modelo, estas facilitan la interacción y comprensión del mismo. Estas son:

No.	Nombre		Descripción
	Inglés	Español	
1.	<i>Interface</i>	Presentación	Sirve para realizar una presentación del modelo, en muchos casos es utilizada para mostrar el sistema modelado de una manera más sencilla y comprensible.
2.	<i>Map</i>	Mapa	Corresponde a una vista general de la estructura del modelo, desde esta pestaña se pueden realizar algunas modificaciones al modelo.
3.	<i>Model</i>	Modelo	Se utiliza para crear el modelo en sí, da la posibilidad de utilizar todas las herramientas y de modificar libremente el modelo.
4.	<i>Equation</i>	Ecuaciones	Muestra las ecuaciones que simulan las condiciones del modelo, son determinadas a partir de la estructura del modelo, de sus elementos e interacciones.

Fuente: Los autores, 2010.

Pero también existen otros elementos claves para la interpretación y estudio de nuestro modelo, por ejemplo como son las gráficas y las tablas, que nos permiten visualizar información de manera compacta. Estas opciones del programa son dinámicas, ya que permite al usuario manejar el modelo para que muestre la información que se desea.

Los pasos principales para la construcción de un modelo con STELLA son:

1. Crear una estructura básica que contenga el proceso que se desea modelar, se debe incluir los procesos, los flujos, las relaciones entre los componentes y demás elementos que se consideren necesarios.
2. Una vez desarrollado el primer paso, el segundo consiste en asignar los valores iniciales a las reservas, construir las ecuaciones para de los flujos y fijar valores a los convertidores.

5.4) Construcción del modelo de la interceptación del agua

Como hemos dicho anteriormente, nuestro objetivo era calcular y comparar la interceptación de lluvia en 3 distintos casos: pinos, pinos + matorral y solo matorral.

Cada de estos casos 3 estarán formados por el mismo número de densidad vegetal por superficie, en la cual el 60% de la parcela de estudio estará ocupada por la materia vegetal y los restante por cientos estarán ocupados por el suelo desnudo. En el cual compararemos la capacidad de interceptación del agua de la lluvia con la misma cantidad de vegetación en los 3 casos, para así poder ver en qué caso se retiene más agua en las mismas condiciones. Las parcelas están determinadas por un área de 100 m².

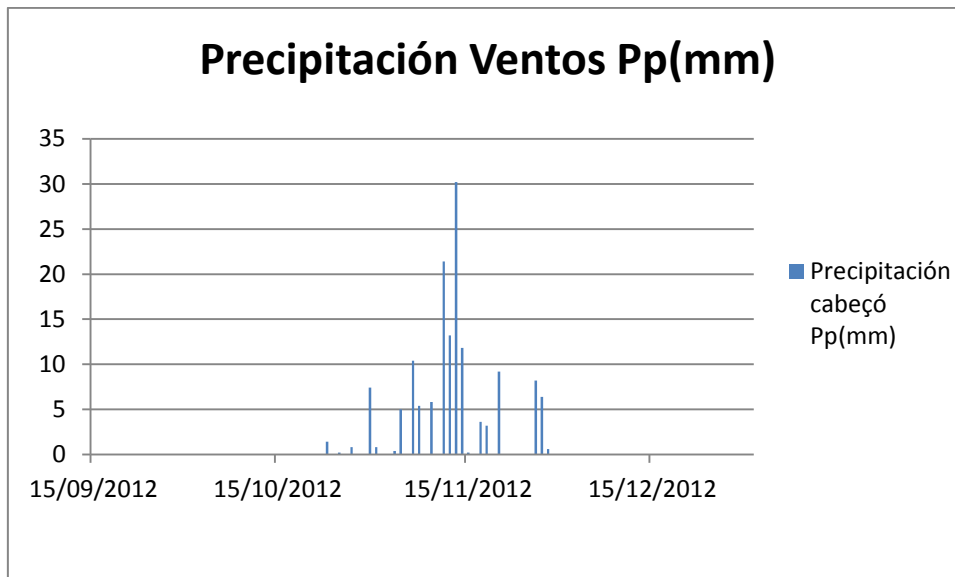
Para la creación de nuestros modelos, usaremos distintos datos proporcionados por los profesores y sus becarios.

Para la formación de nuestro modelo de la interceptación de lluvia a partir de los sistemas descritos anteriormente utilizaremos los siguientes datos que nos ayudaran a entender el sistema de Ventós. Estos datos serán los siguientes:

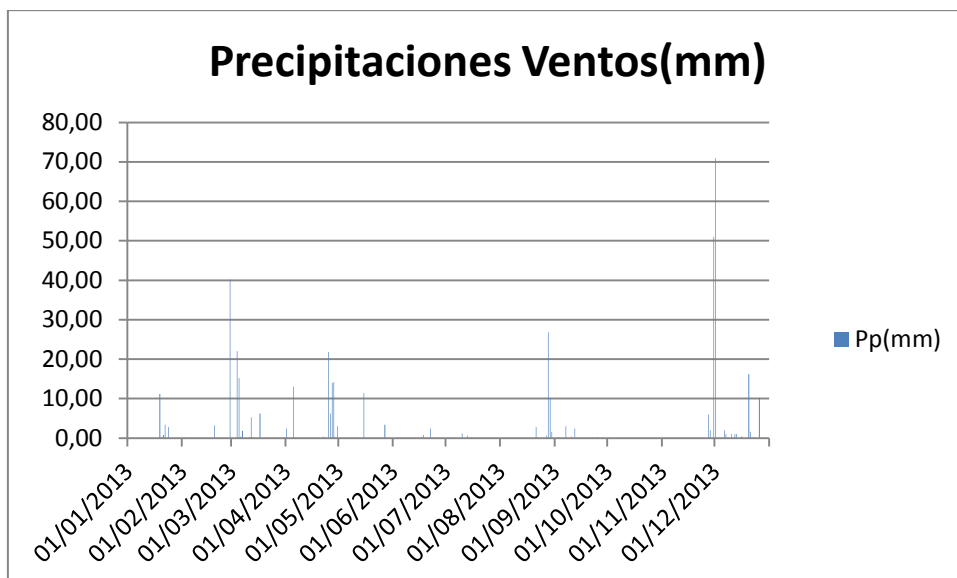
1. Precipitación incidente: Representa la cantidad total de agua que cae sobre la cubierta de los árboles.

2. Agua interceptada: Es la parte de la precipitación que queda retenida por el árbol y pasa de nueva a la atmosfera por evaporación.
3. Agua de transcolación: Corresponde a la precipitación que llega directamente al suelo entre las hojas de los árboles o cae, después de ser interceptada, por goteo.
4. Agua de escorrentía cortical: Es el agua que una vez captada por el árbol escurre a lo largo del tronco.

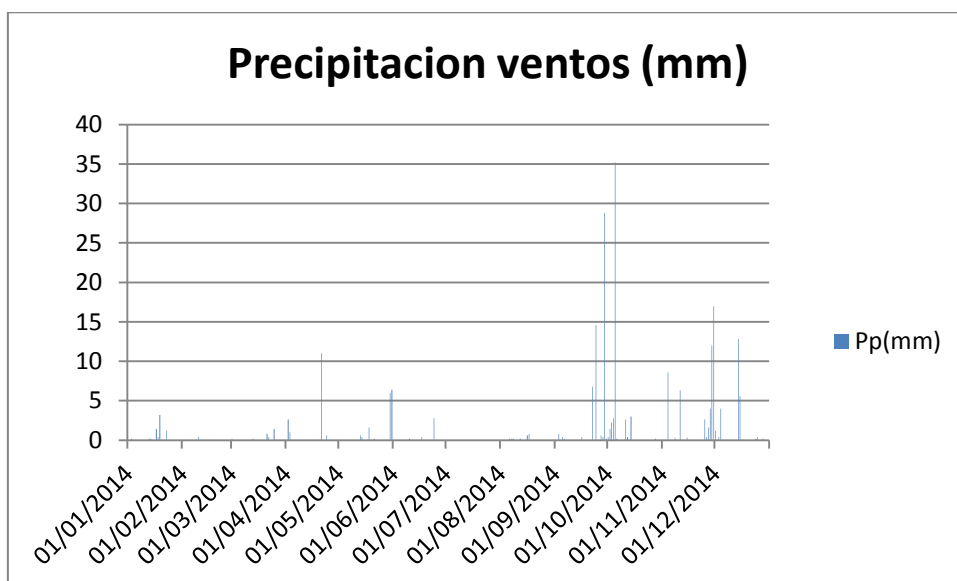
En cada modelo debe de existir un flujo de entrada que en nuestro caso será la precipitación. Los datos de la precipitación fueron facilitados por los profesores de la universidad de Alicante, que calcularon los la precipitación diaria desde 15/09/2012 hasta 31/12/2014. Las siguientes tablas representan los daros de las precipitaciones en ventos:



- Precipitaciones en Ventos durante 2012



- Precipitaciones Ventos durante 2013



- Precipitaciones ventos 2014

El agua interceptada por la lluvia se saca a partir de la siguiente formula:

$$A_i = P - (A_t + A_e)$$

Dónde:

- A_i = Agua de interceptada
- P = Precipitacion
- A_t = agua de transcolación
- A_e = Agua de escorrentía cortical

Las ecuaciones para sacar el agua de transcolación, escorrentía cortical y superficial fueron sacados a partir de los modelos dados por DEROUICHE et al (1996). En la cual afirma que para cada caso de nuestro modelo a estudiar, dependiendo si es pino, matorral o mixto los parámetros de la ecuación cambia muchísimo.

En la siguiente tabla se presentan los datos para poder calcular los distintos parámetros para poder calcular la interceptación de la lluvia por el agua:

Vegetacion	a_tr	b_tr	a_ec	b_ec	r_a	r_b	r_c
Pino	0,6688	-0,8214	0,07295	-0,06565	-0,000009	0,0114	-0,0247
Mixto	0,60474	-0,50486	0,21486	-0,2257	0	0,0059	-0,0201
Matorral	0,97441	-0,5937	0	0	0	0,0086	-0,0271

Estos datos son específicos de lugar de Ventos, calculados por DEROUICHE et al (1996), cuales han calculado la transcolación, escorrentía cortical y superficial para Pino, matorral y mixto.

Para poder sacar la Transcolación usaremos la siguiente formula:

$$A_t = a_{tr} * P + b_{tr}$$

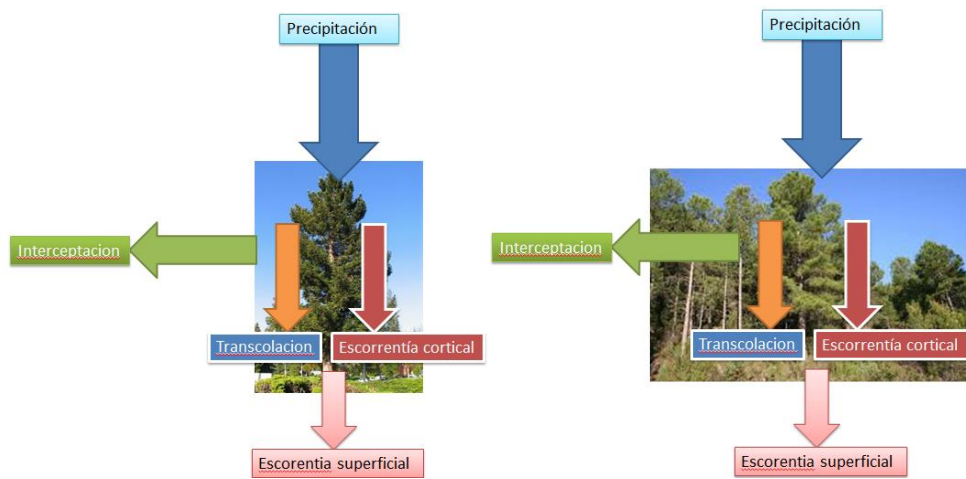
Para obtener los datos de la escorrentía cortical utilizaremos:

$$A_e = a_{ec} * P + b_{ec}$$

Para calcular la escorrentía superficial vamos a utilizar los siguientes datos:

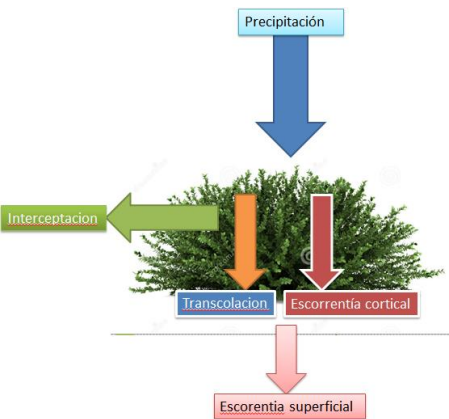
$$Esc_s = r_a * P^2 + r_b * P + r_c$$

A partir de estas ecuaciones pasaremos a modelar nuestro sistema en el programa Stella, en cual utilizaremos todos los datos descritos anteriormente. El modelo conceptual se presenta en la siguiente figura en la cual se representa el flujo de agua de siguiente manera:



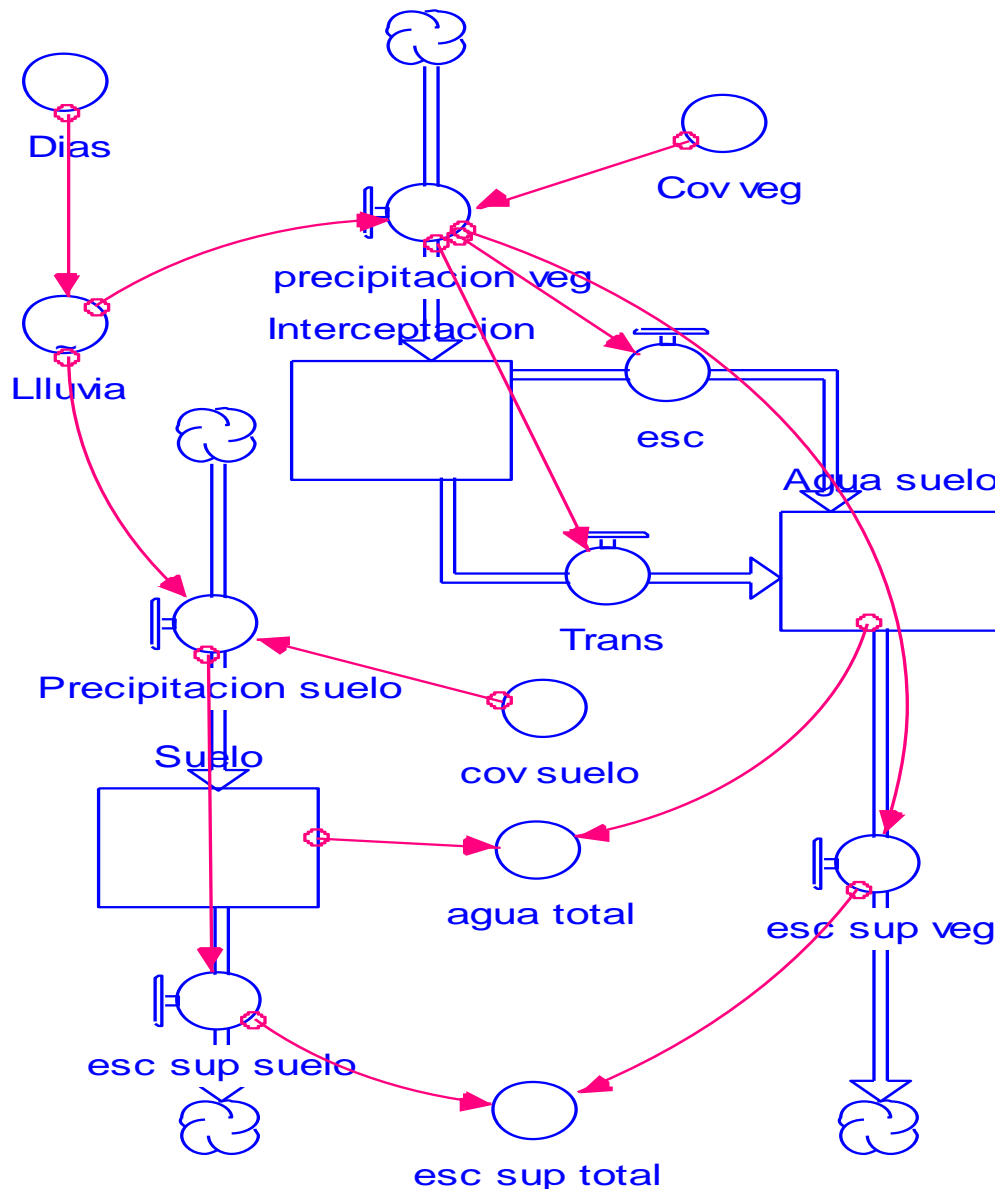
Representación modelación caso pino

Representación modelación mixto



Representación modelación matorral

El diagrama de flujo de agua creado en Stella es el siguiente:



Las precipitaciones en este modelo se han dividido en dos, una para la parcela donde está cubierta por la vegetación y la otra por la parcela que está cubierta por suelo sin vegetación. A cada precipitación la multiplicamos por el factor de cobertura que ocupa en la parcela, que en el caso de la cobertura vegetal la multiplicaremos por 60% y el suelo desnudo por el 40%. La interceptación la interpretaremos como un stock, ya que retiene el agua de la lluvia. A este stock de interceptación le añadiremos dos flujos de salida; uno de ellos será la trancolación y la otra será la escorrentía cortical. Estos dos flujos darán al agua retenida en el suelo, cual se podría convertirse en la escorrentía superficial del suelo. A esta escorrentía superficial le sumaremos la escorrentía

superficial del suelo que no está cubierta por la vegetación y así obtendremos el flujo de la escorrentía superficial total de la parcela.

6) Resultados y conclusiones

6.1) Resultados

Pino 2012		
Lluvia	Interceptación	% interceptación
1,4	0,84	60,00%
0,2	0,12	60,00%
7,4	2,03	27,43%
0,8	0,48	60,00%
0,4	0,24	60,00%
5	1,67	33,40%
10,4	2,49	23,94%
5,4	1,73	32,04%
5,8	1,78	30,69%
21,4	4,21	19,67%
13,2	2,93	22,20%
30,2	5,57	18,44%
11,8	2,71	22,97%
0,2	0,12	60,00%
3,6	1,45	40,28%
3,2	1,38	43,13%
9,2	2,31	25,11%
8,2	2,16	26,34%
6,4	2,4	37,50%

Estos datos nos muestran la interceptación del agua de la lluvia por pinar del año 2012, con lo que podemos decir que por 144,2 litros que caían por cada m² se interceptan 36.46 litros, es decir 25.28% total de la lluvia.

En el año 2013, de los 422.6 litros por metros cuadrado se han interceptado 100,84 litros, es decir 23,86% de la lluvia total.

Y en el caso del año 2014 de los 202,3 litros de agua de lluvia total se ha interceptado 59,3 litros, es decir 29,36 % de la lluvia total.

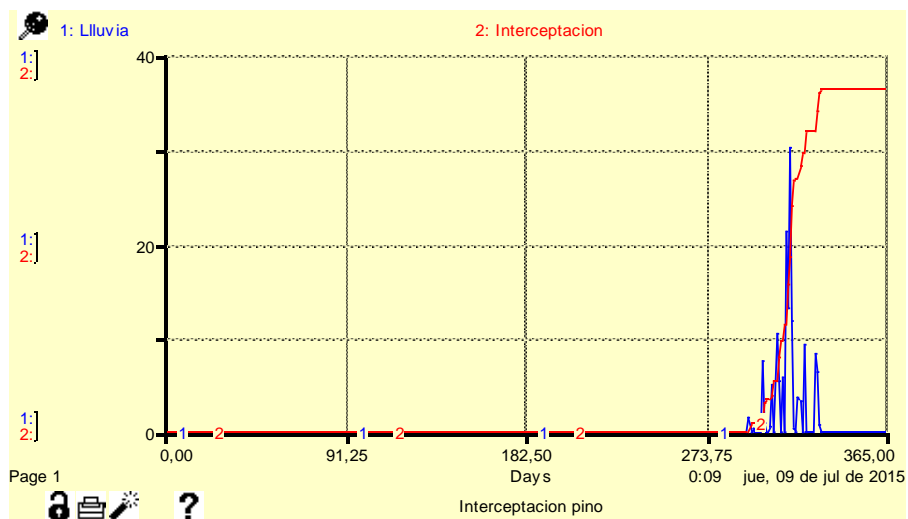


Gráfico de la interceptación de lluvia por los pinos del año 2012.

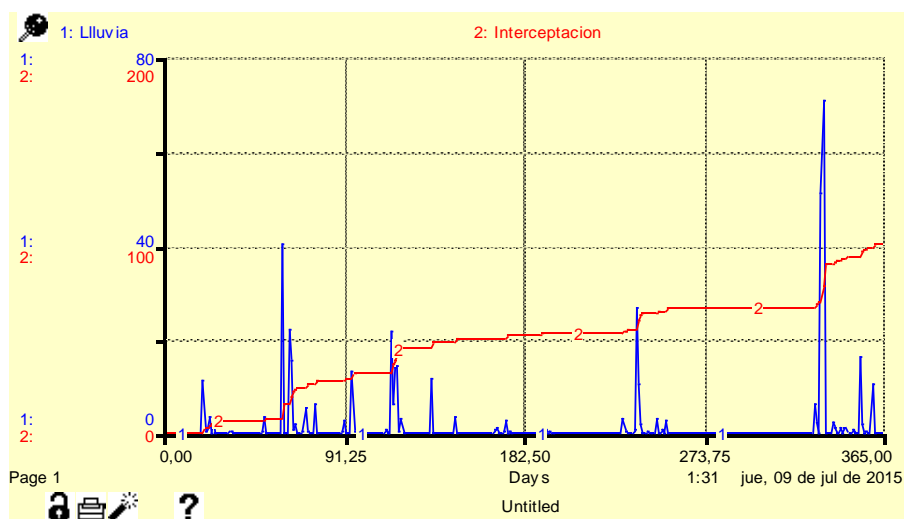


Gráfico de la interceptación del agua de la lluvia por pinar año 2013.

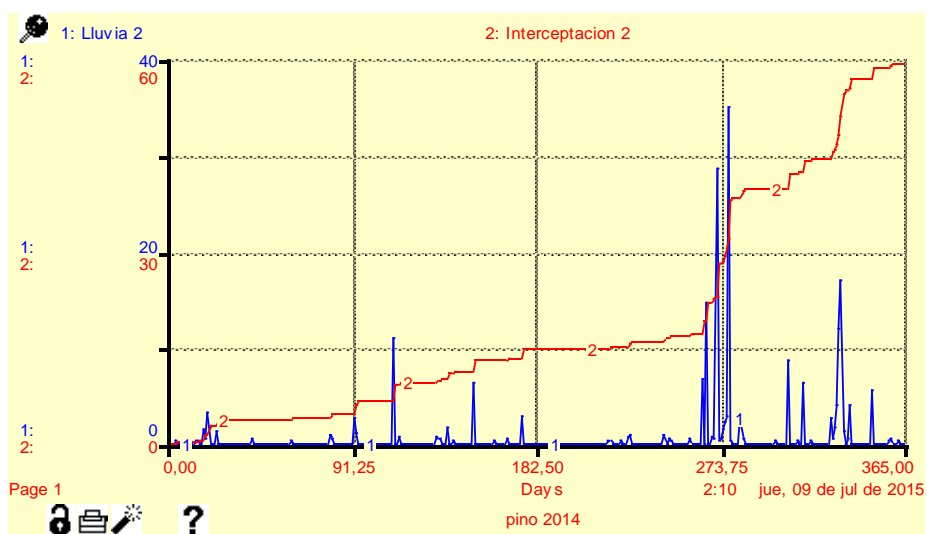


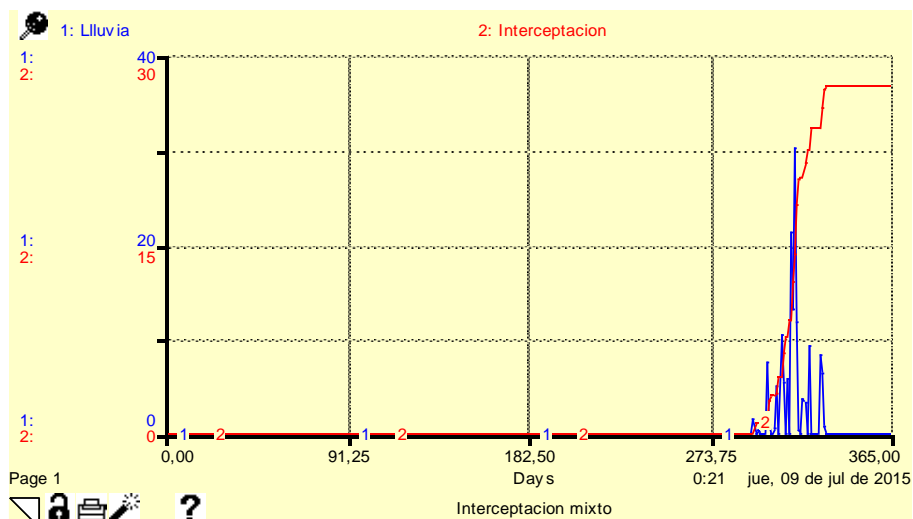
Gráfico de la interceptación del agua de la lluvia por pinar año 2014.

Pino+ Matorral 2012		
Lluvia	Interceptación	% Interceptación
1,4	0,84	60,00%
0,2	0,12	60,00%
7,4	1,53	20,68%
0,8	0,48	60,00%
0,4	0,24	60,00%
5	1,27	25,40%
10,4	1,86	17,88%
5,4	1,31	24,26%
5,8	1,36	23,45%
21,4	3,05	14,25%
13,2	2,16	16,36%
30,2	4	13,25%
11,8	2	16,95%
0,2	0,12	60,00%
3,6	1,12	31,11%
3,2	1,08	33,75%
9,2	1,73	18,80%
8,2	1,61	19,63%
6,4	1,43	22,34%
0,6	0,36	60,00%

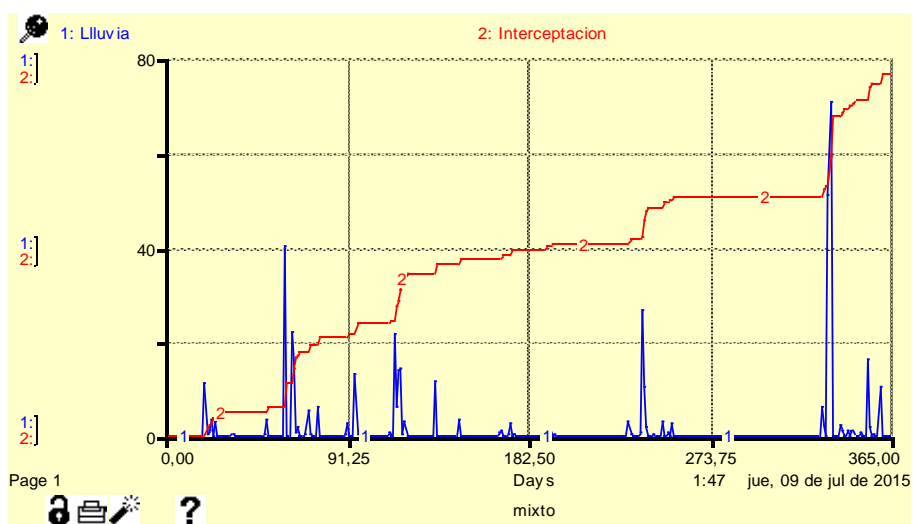
En la siguiente tabla se representó la interceptación de lluvia por el pino y matorral juntos del año 2012. La interceptación total del agua de la lluvia por el sistema vegetal Pino + Matorral del 2012 es del 19,11 %.

En el año 2013, de los 422.6 litros por metros cuadrado se han interceptado 76,84 litros, es decir 18,18 % de la lluvia total.

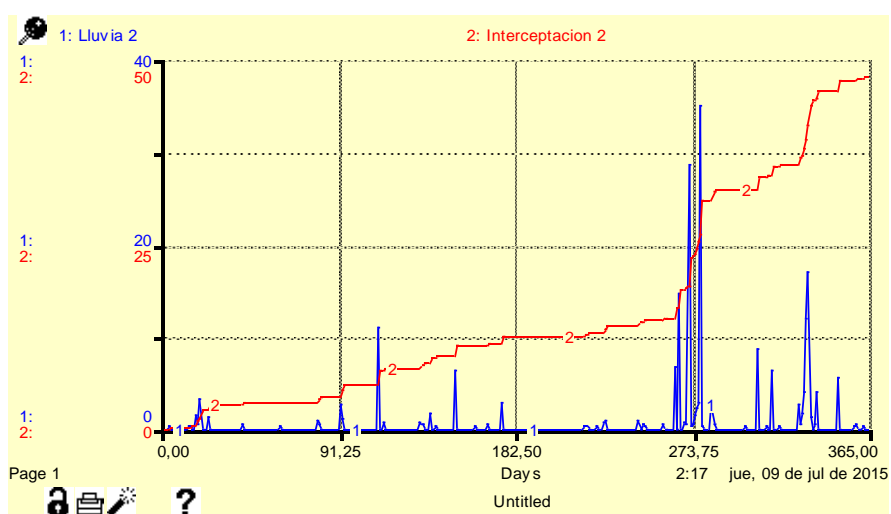
Y en el caso del año 2014 de los 202,3 litros de agua de lluvia total se ha interceptado 40,3 litros, es decir 19,92 % de la lluvia total.



Grafica de la interceptación de la lluvia por pino matorral 2012



Grafica de la interceptación de la lluvia por pino matorral 2013



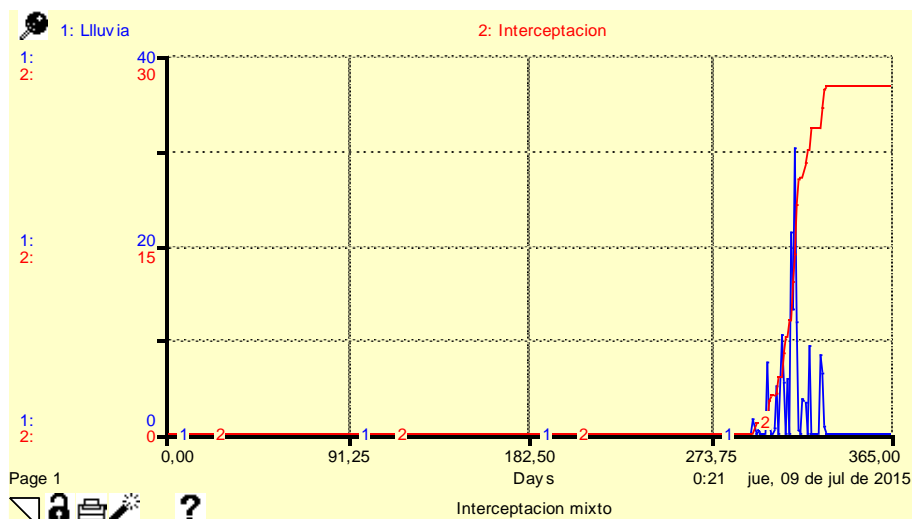
Grafica de la interceptación de la lluvia por pino matorral 2014

Matorral 2012		
Lluvia	Interceptación	% Interceptación
1,4	0,62	44,29%
0,2	0,12	60,00%
7,4	0,7	9,46%
0,8	0,48	60,00%
0,4	0,24	60,00%
5	0,68	13,60%
10,4	0,75	7,21%
5,4	0,68	12,59%
5,8	0,68	11,72%
21,4	0,93	4,35%
13,2	0,8	6,06%
30,2	1,06	3,51%
11,8	0,78	6,61%
0,2	0,12	60,00%
3,6	0,65	18,06%
3,2	0,64	20,00%
9,2	0,74	8,04%
8,2	0,72	8,78%
6,4	0,69	10,78%
0,6	0,36	60,00%

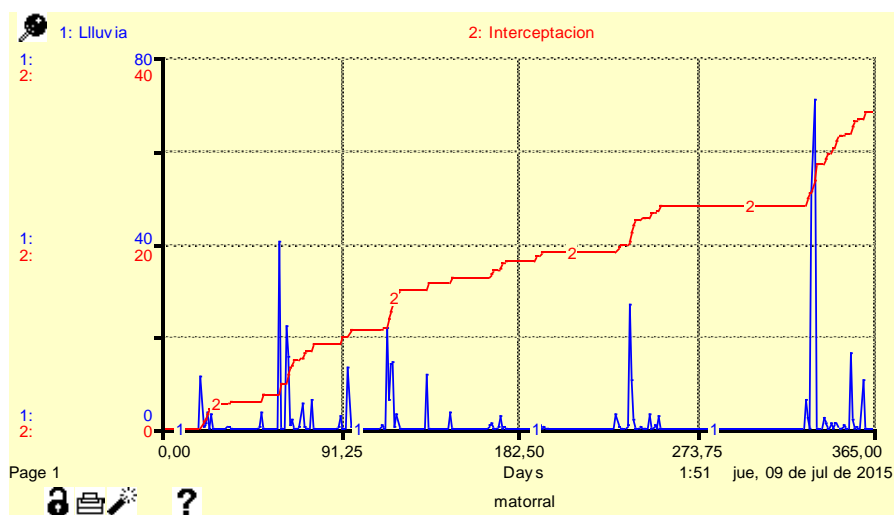
En la siguiente tabla se representó la interceptación de lluvia por el matorral del año 2012. La interceptación total del agua de la lluvia por el sistema vegetal Matorral del 2012 es del 8,59 %.

En el año 2013, de los 422.6 litros por metros cuadrado se han interceptado 34,13 litros, es decir 8,08 % de la lluvia total.

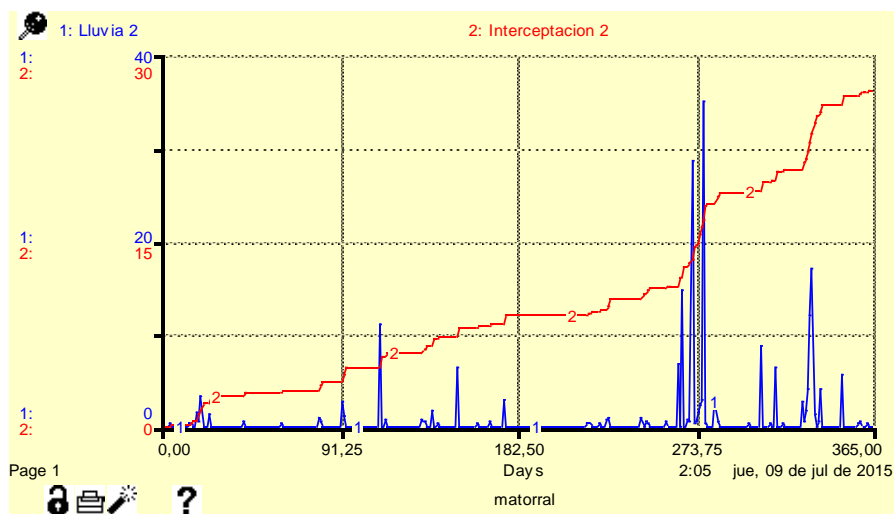
Y en el caso del año 2014 de los 202,3 litros de agua de lluvia total se ha interceptado 27,23 litros, es decir 13,46 % de la lluvia total.



Grafica de la interceptación de la lluvia por matorral 2012



Grafica de la interceptación de la lluvia por matorral 2013



Grafica de la interceptación de la lluvia por matorral 2013

6.2) Conclusión y Discusión

Con los datos obtenidos podemos decir que con la misma cubierta vegetal ocupada en una parcela, el sistema que mayor intercepta es del pinar llegando a interceptar el 25% de la lluvia total, le sigue el sistema pino + matorral llegando a valores de la interceptación de lluvia de 19%. Y el sistema del matorral es el sistema que menos intercepta el agua de la lluvia llegando a unos valores 9%.

Podemos afirmar también que en el caso de las lluvias escasas o inferiores a 10 mm, el agua que se intercepta es de gran proporción, mientras que en el caso de las lluvias superiores a 10 mm, los valores de interceptación tienden ser en torno al 20% de la precipitación.

También se puede afirmar a partir de la simulación, que bajo coberturas superiores en torno a los 60% la respuesta hidrológica (perdida de suelo provocada por la escorrentía superficial) no influye mucho en el sistema, llegando a unos valores mínimos aunque la estructura vegetal no sea arbórea.

La similitud en cuanto a la cantidad de lluvia perdida por interceptación en los 3 casos estudiados, se rompe con la importancia participativa de los distintos flujos de interceptación en el balance final. La distribución de los distintos flujos es diferente en cada especie. La diferencia podría estar determinada por el flujo de la escorrentía cortical que es de gran importancia de cada sistema vegetal, que en el caso del matorral puede representar, sobre el total de precipitación incidente en torno 30-40%, convirtiéndose así en un flujo muy importante. Por el contrario, en pino se alcanza valores muy pequeños casi insignificantes de la precipitación incidente.

La diferencia entre el pino y las especies de matorral en cuanto a la distribución de flujos de precipitación neta, conduce a importantes diferencias en la distribución espacial de la lluvia neta bajo una cobertura de pino o matorral con pino y una cobertura de matorral.

Las cubiertas de pinos distribuyen la transcolación de manera que pueden producirse diferencias del 100%, en el volumen de agua que llega al suelo, entre unos sectores y otros. Los sectores de máxima transcolación se localizan en los bordes enfrentados al viento, donde la capacidad de almacenaje se satura más rápidamente iniciándose la

transcolación mucho antes que en los lados opuestos al viento. En estas áreas de máxima transcolación, la lluvia que alcanza el suelo puede superar el 150 % de la precipitación incidente, sobre todo, cuando a la transcolación se suma la lluvia directa que puede penetrar en estas áreas por efecto del viento y la pendiente de la ladera.

Conclusion and Discussion

We can say that with the same plant cover occupied a plot, the higher intercepts system is the pinewood coming to intercept 25% of the total rainfall, followed by the pine + scrub system reaching values interception 19% rain. And the scrub system is the system that intercepts less rainwater values reaching 9%.

We can also say that in the case of low or lower rainfall to 10 mm, the water is intercepted is large proportion, whereas in the case of the upper rain 10 mm, the values of intercept tend to be around 20 % of precipitation.

You can also tell from the simulation, that under top cover around 60% of hydrological response (soil loss caused by surface runoff) does not greatly influence the system, reaching minimum values although the plant structure does not is tree.

The similarity in terms of the amount of rainfall interception loss in the 3 cases studied, participatory breaks importance of the different flows interception in the final balance. The distribution of the various streams is different in each species. The difference could be determined by the cortical flow runoff it is of great importance that each plant system, in the case of scrub may represent the total incident precipitation of around 30-40%, thus becoming a very flow important. By contrast, an almost negligible pine very small value of the incident precipitation is reached.

The difference between pine and shrub species in terms of the distribution of flows net precipitation, leads to important differences in the spatial distribution of the rain under cover net or pine scrub pine and scrub coverage.

Pine covers throughfall distributed so that 100% differences may occur in the volume of water that reaches the ground, between one sector and another. Maximum throughfall sectors are located in the edges facing the wind, where the storage capacity is saturated

faster initiating throughfall long before the wind on opposite sides. In these areas of high throughfall, rain reaching the ground can exceed 150% of incident precipitation, especially when translocation direct rain can penetrate into these areas by wind and slope joins the slope.

Bibliografía

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. No 56).

Aussenac, G. (1968): Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. Forest*, 25 (3), pp. 135-156.

Aussenac, G. (1970): Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sci. Forest*, 27, pp. 383-399.

Aussenac, G.; Boulangeat, C. (1980): Interception des precipitations et evapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus silvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (mirb) Franco). *Annales des Sciences forestières*. 37 (2): 91-107.

Belmonte Serrato, F. & Romero Díaz, M.A. (1994): Distribución de flujos de agua en el proceso de intercepción en cuatro especies vegetales mediterráneas y su relación con la cantidad de agua disponible en el suelo. III Reunión Nacional de Geomorfología, Logroño, pp. 201-210.

Bernet Herguajuela, R. (1995): La cubierta herbácea en sistemas de dehesa degradados. Junta de Extremadura y FUNDICOT.

Beven, K. J., & Binley, A. M. (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6, 279-298.

Bo, Z., Islam, S., & Elthair, E. (1994). Aggregation-disaggregation properties of a stochastic model. *Water Resources Research*, 30 (12), 3423-3435.

W. Bouten, T. J. Heimovaara, A. Tiktak (1992): Spatial patterns of throughfall and soil water dynamics in a Douglas fir stand, Volume 28, Issue 12 Pages 3227–3233

Bui EN, B. J. (1992). Stemflow, rain, throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. *Soil Science Society of America Journal* (56), 242-247.

Calabuig, E., Gago, M.L. & Gómez Gutierrez, J.M. (1979): Influencia de la encina (*Quercus Rotundifolia* lam.) en la distribución del agua de lluvia. *Anuario del centro de Edafología y Biología Aplicada*, vol. 4, Salamanca.

Calder, L. (1986). A stochastic model of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 89, 65- 71.

Camacho, L., & DiazGranados, M. (2003). Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de solutos y de calidad de agua en ríos-Caso río Bogotá.

- Casado, S., & Bartual, R. (1998). Desagregación de lluvias para aplicaciones en simulación de sistemas de recursos hidráulicos. *Revista de Obras Públicas, Ciencia y Tecnología de la Ingeniería Civil*, 3.378, 25-35.
- Castillo, F., & Castellvi, F. (2001). *Agrometeorología*. Mexico D.F: Grupo Mundi-Prensa.
- Ceballos Barbancho, A. & Schnabel, S. (1996): Runoff Generation in a Small Catchment under Silvo-pastoral Landuse in a South-west Spain. Conference «Ecohydrological Processes in Small Basins», Strasbourg, France.
- Ceballos Barbancho, A. (1996): Escorrentía superficial en un área de dehesa de la provincia de Cáceres. Planteamiento metodológico. Memoria de Licenciatura. Dpto. de Geografía y O.T. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- Ceballos Barbancho, A. (1997): Balance de agua de una cuenca hidrográfica bajo explotación de dehesa en Extremadura. Tesis Doctoral. Dpto. de Geografía y O.T. Facultad de Filosofía y
- Crockford R.H., & Richardson D.P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *HYDROLOGICAL PROCESSES* (14), 2903 • }2920.
- Chavez, B., & Jaramillo, A. (1999). Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de Café (*Coffea Arabica* L.) al sol y bajo Sombra. *Cenicafé*, 50 (2), 97-105.
- Chow, V., Maidment, R., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogota: McGrawHill.
- Daniel TW, JA Helms, FS Baker. 1982. Principios de Silvicultura. México. Primera Edición. Mc Graw-Hill. 492 p.
- David, J., Valente, F., & Gash, J. (2005). *Evaporation of intercepted rainfall* (Vol. Chapter 43). In: Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley and Sons. Ltd.
- DEROUICHE, A. 1996. Estimación el modelation des composantes du bilan hydrique chez différentes formations arborees, arbustives et herbacees mediterraneennes. Tesis Master. IAM-Zaragoza-Univ. De Alicante. 108pp.
- Dominguez, E. (2007). *Notas de Clase de la asignatura Procesos Estocásticos Aplicados a la Hidrología*. Bogota D.C.: Universidad Pontificia Javeriana.
- Gash, J. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105, 43–55.
- Gash, J.H.C & Morton, A.J. (1978): An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from the Thetford forest. *Journal Hidrology*, 38, pp. 89-105
- Gash, J.H.C. (1979): An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105, pp. 43-55.
- Gash, Lloyd, & Lachaud. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170, 79-86.
- Gash, Muzylo, Llorens, Valente, Keizer, & Domingo. (2009). Review: A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology* (370), 191–206.

- Gerrits, M. (2006). Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembuourg. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* , 3, 2323 – 2341.
- Gerrits, M. (2010). *The role of interception in the hydrological cycle*. Netherlands, Delft: VSSD.
- Giraldo, J., & Jaramillo, A. (2004). Ciclo hidrológico y transporte de nutrientes en cafetales bajo diferentes densidades de sombrero de guano. *Cenicafé* 55 , 1, 52-68.
- Giraldo, L. (2002). *Memorias: Hidrología Forestal (Influencia de los Bosques)*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Ciencias Forestales.
- Gómez Amelia, D. & Schnabel, S. (1992): Procesos sedimentológicos e hidrológicos en una pequeña cuenca bajo explotación de dehesa en Extremadura. II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, pp. 55-63.
- Gonzalez, J. (2000). Monitoring cloud interception in a tropical montane cloud forest of the South western Colombian Andes. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* , 1 (1), 97-117.
- Grimm U & Fassbender, H.M. (1981): Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela I, II, III, IV, Turrialba 31, 27-39; 39-47; 89-99; 101-108.
- Hernandez, L. (2007). *Tesis de Maestría: Medición y análisis de la interceptación de lluvia en un bosque de Encino: aplicación a la microcuenca la barreta*. Queretaro, Mexico: Universidad Autonoma de Queretaro, Facultad de Ingeniería.
- Hewlett J, W Nutter. 1969. An outline of forest hydrology. Georgia. University of Georgia Press. 137 p.
- Horton, R.E. (1919): Rainfall interception. *Monthly Weather Rev*, 47, pp. 603-623.
- Huber A, C Oyarzún, A Ellies. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6(2): 74-82.
- Huber A, C Oyarzún, 1990. Variaciones anuales en la precipitación, escurrimiento e interceptación en un bosque de *Pinus radiata*. Turrialba 40(4): 503-508.
- Huber A, D López. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don). *Bosque* 14(2): 11-18.
- Jaramillo, A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de Bosque y cafetal. *Cenicafé* , 54 (2), 134-144.
- Jaramillo, A. (2005). La redistribucion de la radiacion solar y la lluvia dentro de plantaciones. *Revista Academica Colombiana de Ciencias* , 29 (112), 371-382.
- Jaramillo, A., & Chavez. (1999). Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de Café (*Coffea Arabica* L.) al sol y Bajo Sombra. *Cenicafé* , 50 (2), 97-105. Jaramillo, A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de Bosque y cafetal. *Cenicafé* , 54 (2), 134-144.

Jarvis, A. (2000). Measuring and modelling the impact of land-use change in tropical Hillsides: The Role of Cloud Interception to Epiphytes. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* , 118-148.

Kittredge, J. (1948): Interception and stemflow. *Forest influences*, 11, pp. 99-114.

Koutsoyiannis, D., & Onof, C. (2005). *HYETOS A computer program for stochastic disaggregation of fine-scale rainfall*. National Technical University of Athens, Faculty of Civil Engineering, Department of Water Resources and Environmental Engineering

Lee R. (1980). *Forest Hydrology*. New York, United States of America. Columbia University Press. 349 p.

Leon, J., Gonzales, M., & Gallardo, J. (2010). • Distribucion del agua lluvia en tres bosques altoandinos de la cordillera central de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* , 63 (1), 5319-5336.

Letras. Universidad de Extremadura, Cáceres. Escarré, A., Lledo, M.J., Bellot, J. et al. (1986): Balance hídrico, meteorización y erosión en una pequeña cuenca de encinar mediterráneo. Proyecto LUCDEME II, ICONA, Monografía 47.

López C, C Blanco. 1978. Hidrología Forestal. Segunda Parte. Madrid, España. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 134 p.

Lossaint, P. & Rapp, M (1971): Repartition de la matière organique productivité et cycle des éléments minéraux dans les écosystèmes de climat méditerranéen. En: Duvinéaud, P. (de). Productivité des écosystèmes forestiers. Actes coll. Bruxelles, Unesco.

Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A. & El Hadj Moussa, F. (1992): Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *Journal of Hydrology*, 138, pp. 449-46.

Llorens & Domingo. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology* , 35, 37-54.

Llorens P, P. R. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology* (199), 331-345.

Llorens, P. (1996): Monitoring evapotranspiration and interception from grassland and forest patches overgrown in abandoned terraces at the Cal Parisa basin. Conference on Ecohydrological Processes in Small Basins, Strasbourg, France.

Madsen, H. V. (2007). *Model Calibration Guideline*. Horsholm, Denmark.: Harmonised modeling tools for integrated basin management (Harmoni-CA).

Martinez, J. (2001). *Tesis (Ingeniero Agrónomo): Hidrología del bosque húmedo tropical*. Bogota D.C : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería, Alfaomega.

- Monteith, J. (1985). Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. *Advances in Evaporation ASAE* , 4-12.
- Narciso F. Macia, George Julius Thaler. Cengage Learning,(2005): Modeling and Control of Dynamic Systems -543p.
- Orestes, N., K. Shrader-Frechette y K Beliz. (1994). Verification, validation and confirmation on numerical models in the earth sciences. *Science* 263: 641-646.
- Rabbinge, R., and De Wit, C.T. 1989. Systems, models and simulation. Pages 3-15 in: *Simulation and Systems Management in Crop Protection*. Rabbinge, R., Ward, S.A. and Van Laar, H.H., Eds. Pudoc, Wageningen, 420 p.
- Rapp, M. & Romane, F. (1968): Egouttement des précipitations sous des pleuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill. Contribution a l'étude du Bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. *Oecol. Plant.*, 3, pp. 271-284.
- Roma: Estudio FAO Riego y Drenaje 56. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. FAO.
- Rowe, P. & Colman, E.A. (1951): Disposition of rainfall in two mountain areas of California U.S. Dept. Agric. Tech Bull. 1018.
- Rutter, J. & Morton, A. (1977). A predictive model of rainfall interception in forests. III: Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. *Journal of Applied Ecology* (14), 567-688.
- Rutter, J., Morton, A., & Robins, P. (1975). "A predictive model of rainfall interception in forests". II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology* , 12, 367-380.
- Rutter, Kershaw, Robins, & Morton. (1971). "A predictive model of rainfall interception in forests". I. A derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology* , 9, 367-384.
- Rykiel, E.J. (1996). Testing Ecological models. The meaning of validation. *Ecological Modelling* 90: 229-244.
- Schnabel, S. (1997): Soil Erosion and Runoff Production in a Small Watershed under Silvo-Pastoral Landuse (Dehesas) in Extremadura, Spain. *Geoforma Ediciones, Logroño*.
- Seminario Internacional " la Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*, 73-82.
- Shannon, R. E. (1988). *Simulación de sistemas diseño, desarrollo e implementación*. Mexico: Trillas.
- Snet (2005): (<http://www.snet.gob.sv>)

- Silva, G. (1998). *Hidrología Básica*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- Spurr S, B Barnes. 1982. *Ecología Forestal*. México. AGT Editor. 690 p.
- Tellez, P. (2003). *Simulación del ciclo hidrológico en tres tipos de uso del suelo de la Amazonía colombiana*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Tobon, C. (1999). *Monitoring and modelling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in Amazonian rain forest ecosystems*. Amsterdam, Netherlands: Tropenbos Series 17.
- Tobon, C., Bouten, W., & Sevinj, J. (2000). Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology* , 237, 40–57.
- Tobon. (1989). *Evaluación de pérdidas por interceptación de la precipitación en tres coberturas vegetales: Cupressus lusitánica Mill, Pinus patula y bosque natural secundario*. Medellín: Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia.
- Tsukamoto AS, Grosschedl R, Guzman RC, Parslow T and Varmus HE. (1988).Cell 55, 619-625.
- USDA. (1986). *Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55 (TR-55)* . United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.(Second Edition ed.).
- Valente, David, & Gash.(1997). Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology* (190), 141–162.
- Van Dijk, A., & Bruijnzeel, L. (2001). Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *Journal of Hydrology* (247), 230-238.
- Velasquez, S., & Jaramillo, A. (2009). Redistribucion de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera Colombiana. *CENICAFE* , 60 (2), 148-160.
- Veneklaas, E., & Van Ek, R. (1990). Rainfall interception in two tropical montane rain forests, Colombia. *Hydrological Processes* , 4, 311-326.
- Ward A, S Trimble. 2004. *Environmental hydrology*. United States of America. Lewis Publishers. 475 p.
- Wagener, Lees, & Wheeler. (2001).*MONTE-CARLO ANALYSIS TOOLBOX USER MANUAL*. London, UK: Imperial College of Science Technology and Medicine.
- Wood, D.M (1937): The interception of precipitation in an oak-pine forest. *Ecology*, 18 (2), pp. 251-255.
- Xiao, Q., McPerson, E., Ustin, S., & Grismer, M. (2000). A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research* , 105. 173–188.